

**Levantamiento  
y  
Carteo Geológico I**

**MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO  
TOPOGRÁFICO  
Pothenot, Hansen, Poligonación  
- I -**

**F.C.E.F.N.**

**U.N.S.J.**

**Ciclo 2004**

<http://www11.brinkster.com/levcarteol>

---

## LEVANTAMIENTO Y CARTEO GEOLÓGICO I

### MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

#### Pothenot, Hansen, Poligonación

##### I - Levantamientos planimétricos

Los levantamientos planimétricos tienen por objetivo la determinación de las coordenadas planas de puntos en el espacio, para representarlos en una superficie plana: plano o mapa. Cada punto en el plano queda definido por sus coordenadas. Estas pueden ser polares (rumbo y distancia) o cartesianas: distancias perpendiculares a ejes cartesianos: X e Y o N y E.

Los instrumentos topográficos permiten medir ángulos y distancias con las que se determinan las coordenadas de los puntos del espacio que se desea representar en el plano. Los métodos de levantamiento comprenden todas las tareas que se realizan para obtener las medidas de ángulos y distancias, calcular las coordenadas y representar a escala los puntos en el plano, con la precisión adecuada.

Los métodos para el levantamiento planimétrico son los siguientes: triangulación, poligonación o itinerario, radiación e intersección. Los métodos de intersección son los siguientes: directa, lateral, inversa (Pothenot o resección) y Hansen.

##### II - Levantamientos altimétricos.

La altimetría o nivelación tiene por objetivo la determinación de la diferencia de alturas entre distintos puntos del espacio, a partir de una superficie de referencia. A la altura de un punto determinado se denomina cota del punto. Si la altura está definida con respecto al nivel del mar se dice que la cota es absoluta, mientras que si se trata de cualquier otra superficie de referencia se dice que la cota es relativa. A la diferencia de altura entre dos puntos se denomina diferencia de nivel. Con la altimetría se determina la tercera coordenada (h), perpendicular al plano de referencia.

Los instrumentos topográficos permiten medir ángulos verticales entre dos puntos (punto estación y punto visado): distancias cenitales, nadirales o ángulos de altura. Conociendo los ángulos verticales y la distancia entre los dos puntos se pueden obtener las diferencias de nivel entre estos y sus cotas. El conjunto de operaciones para determinar las cotas de puntos de referencia en el espacio, con la precisión adecuada, constituyen el método de levantamiento altimétrico.

Los métodos de levantamiento altimétrico son los siguientes: trigonométrico, eclimétrico, taquimétrico y geométrico.

El instrumento específico para determinar desniveles es el nivel. Con el nivel se aplica el método geométrico o de alturas.

##### III - Levantamientos planialtimétricos.

Los levantamientos planialtimétricos tienen por objetivo determinar las tres coordenadas de puntos en el espacio, en forma simultánea. Integra los métodos planimétricos y altimétricos. El resultado final es un plano acotado o plano topográfico. Las alturas se representan mediante las curvas de nivel. El método de levantamiento planialtimétrico expeditivo se denomina taquimetría. Constituyen el conjunto de operaciones que permiten

obtener las coordenadas de puntos característicos del terreno para la representación del relieve a escala y con la precisión adecuada.

#### IV - Poligonación.

El método de Poligonación consiste en el levantamiento de una poligonal. Una poligonal es una línea quebrada, constituida por vértices (estaciones de la poligonal) y lados que unen dichos vértices. Los vértices adyacentes deben ser intervisibles. El levantamiento de la poligonal comprende la medición de los ángulos que forman las direcciones de los lados adyacentes (o los rumbos de estos lados) y las distancias entre los vértices.

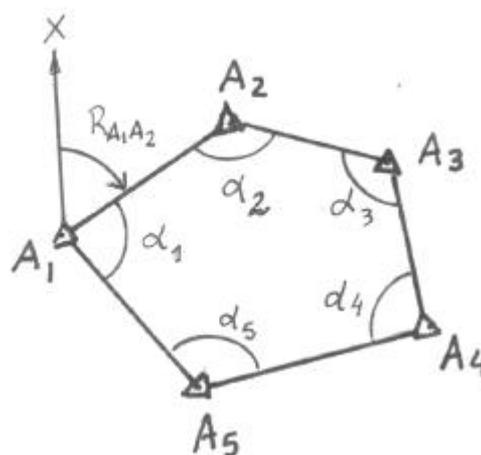


Fig. 1. Poligonal cerrada.

A<sub>1</sub>: Vértices; a<sub>1</sub>: Ángulos internos; A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>: Lados; R<sub>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub></sub>: Rumbo

Si las coordenadas de la primer estación son las mismas que las de la última, entonces la poligonal es cerrada (Fig. 1 ). En cambio, si la primera estación no es la misma que la última, la poligonal es abierta (Fig. 2).

Una poligonal cerrada tiene controles angulares y lineales y por lo tanto los errores de las mediciones pueden corregirse o compensarse.

Lo mismo sucede en una poligonal abierta cuando la primera y la última estación tienen coordenadas conocidas o están vinculadas a puntos de coordenadas conocidas (Fig. 3).

En cambio si las coordenadas del primer y último vértice son desconocidas, la poligonal no se puede controlar ni compensar. Si se conocen las coordenadas solamente del primer vértice de una poligonal abierta, se dice que la poligonal está vinculada, pero no ofrece controles.

También se denominan poligonal de circuito cerrado, cuando la poligonal es cerrada y forma un polígono, mientras que a las poligonales abiertas con los extremos conocidos se las llama poligonal de línea cerrada.

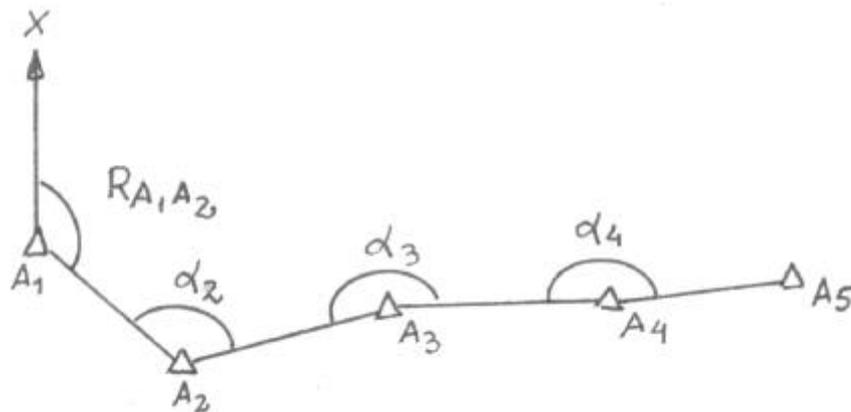


Fig. 2. Poligonal abierta.

$A_1$ : Vértices;  $\alpha_1$ : Ángulos;  $A_1A_2$ : Lados;  $R_{A_1A_2}$ : Rumbo

Cada tipo de poligonal tiene sus aplicaciones, aunque siempre es recomendable construir una poligonal cerrada. Una poligonal abierta puede realizarse cuando el levantamiento es expeditivo, por ejemplo el levantamiento de una secuencia sedimentaria.

Conociendo las coordenadas cartesianas del primer vértice y el rumbo del primer lado, se pueden obtener las coordenadas de todos los puntos sucesivos. Si no se conocen las coordenadas del primer punto ni el rumbo del primer lado, pueden asignarse coordenadas y rumbo arbitrario. De esta manera se puede representar la posición relativa de las estaciones.

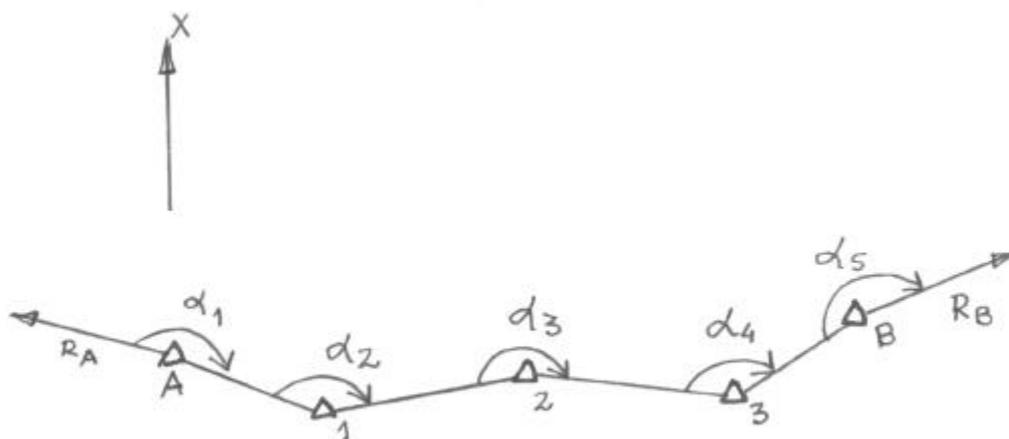


Fig. 3. Poligonal abierta vinculada en sus extremos.

A y B: Puntos de coordenadas conocidas;  $R_A$  y  $R_B$ : Rumbos conocidos.

Los equipos que se utilizan para el levantamiento de una poligonal dependen de la exactitud que se requiere. Las poligonales de primer orden tienen lados de hasta 50 Km. Los ángulos en estos casos se miden con teodolitos geodésicos de precisión. Los lados se pueden medir con instrumentos MED( **M**edición **E**lectrónica de **D**istancias). Para sitios más pequeños y levantamientos más expeditivos pueden aplicarse métodos estadimétricos (lados no mayores que 200 m).

---

## **V - Operaciones para el levantamiento de una poligonal**

### **1 - Brigadas.**

Las brigadas están compuestas por un operador y uno o dos ayudantes. El operador lee y anota los ángulos mientras que los ayudantes colocan las señales en las estaciones adyacentes.

### **2 - Selección de las estaciones.**

Las estaciones de la poligonal se seleccionan de acuerdo a los objetivos del trabajo. Los vértices de la poligonal servirán de estaciones de apoyo en el relleno. De acuerdo a los puntos que se desean relevar, se elegirán los vértices de la poligonal.

Las estaciones adyacentes de la poligonal deben ser visibles entre sí. La distancia que separa las estaciones estará de acuerdo con el método y el instrumento que se utilice para medir la distancia. Las estaciones deben ubicarse en lugares que no estén expuestos a inundación, erosión, desplazamientos, o cualquier otro accidente que destruya la marca del punto.

A menudo se realizan mediciones de ángulos y distancias a puntos cercanos permanentes, para replantear la posición de la estación en el caso de que se destruya. A esta operación se le denomina balizamiento. A la vez que se seleccionan los puntos estación se realiza un croquis que servirá para la planificación de las tareas posteriores.

La marcación consiste en establecer marcas permanentes o semi-permanentes en las estaciones, mediante estacas de madera o hierro. Mediante la señalización se colocan jalones o banderolas en las estaciones para que sean visibles desde las estaciones adyacentes.

### **3 - Medición de los lados**

Los lados de una poligonal se miden con instrumentos MED o con cintas de acero. Para trabajos expeditivos las distancias pueden obtenerse con taquímetro y mira vertical, con hilo o a pasos. Se miden al menos dos veces cada lado, con el objeto de tener un control y se obtiene la media de las dos lecturas.

### **4 - Medición de los ángulos**

Para medir los ángulos de una poligonal se procede a estacionar en cada uno de los vértices, siguiendo un sentido de giro predeterminado: en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido contrario. Se puede medir el rumbo o acimut del primer lado para que la poligonal quede orientada. Se procederá a medir los ángulos internos o externos. Los ángulos se miden aplicando la regla de Bessel (serie completa), bisectando siempre la señal lo más cerca posible de la superficie del terreno.

### **5 - Ajuste y cálculo de la poligonal**

#### **a . Error de cierre angular.**

Cuando se miden los ángulos internos de una poligonal cerrada es posible efectuar un control de cierre angular, dado que la suma de los ángulos interiores de un polígono es igual a  $180^\circ \times (n - 2)$ .

El error de cierre angular es igual a la diferencia de  $180 (n - 2)$  menos la sumatoria de los ángulos interiores.

$$e = 180^\circ (n - 2) - \sum a_{int}$$

El error de cierre angular debe ser menor o igual que la tolerancia. Por tolerancia se entiende el mayor error permitido ( $e_{max}$ ). La tolerancia depende de los instrumentos que se utilizan y los métodos de levantamiento que se aplican. Si se trata de levantamientos poco precisos:  $e_{max} = a.n$ ; en donde  $a$  es la aproximación del instrumento de medida y  $n$  la cantidad de medidas.

En cambio si se trata de levantamientos precisos:  $e_{max} = a.n$

Si en lugar de medir los ángulos internos se miden los ángulos externos, la suma debe ser igual a  $180^\circ \times (n + 2)$ .

Este control se realiza en el campo, de tal manera que si el error es mayor que la tolerancia (error grosero) puede realizarse la medición nuevamente, hasta obtener un error de cierre menor que la tolerancia.

Una vez obtenido el error de cierre angular menor o igual que la tolerancia se procede a compensar los ángulos. Una forma de compensar los ángulos es por partes iguales. Para obtener la corrección angular  $c$ , se divide el error por el número de vértices:

$$C = e/n$$

Obtenida la corrección, se suma o se resta de acuerdo al signo del error, a cada uno de los ángulos:

$$? ' ? ? + c$$

### b. Representación gráfica.

Luego de compensar los ángulos y promediar las medidas de las distancia de los lados se puede representar l a poligonal. Establecida la escala de trabajo, se representa la primera estación y el primer lado, en forma arbitraria o marcando su acimut. Se utiliza un círculo graduado y un escalímetro. Se representa estación por estación hasta llegar al último vértice que debería coincidir con el primero (si la poligonal es cerrada). Como en las mediciones siempre hay errores, esta coincidencia no se produce. Se llega a un punto A' cercano a A. El segmento AA' es el error de cierre de la poligonal. Si este segmento es menor que la tolerancia se procede a compensar la poligonal.

Si hay errores groseros en la medición se procede a remedir algunos lados o ángulos. Existen algunos métodos para detectar los errores groseros. En primer lugar se deben controlar los lados que sean paralelos al error de cierre (AA'). Para detectar errores groseros angulares, se revisan los ángulos cuyos arcos se puedan superponer con el error de cierre, es decir el segmento AA'. Primero se revisa el gráfico, luego los cálculos y finalmente, si el error no aparece, se repite la medición en el terreno.

### c. Corrección gráfica.

Si el error de cierre es menor que la tolerancia, se procede a compensar gráficamente la

poligonal. Se divide el segmento  $AA'$  en el número de vértices. Se trazan paralelas al segmento  $AA'$  en cada uno de los vértices. El vértice B se desplaza una división en el sentido de  $AA'$ . Luego el vértice C se desplaza dos divisiones en el mismo sentido y así sucesivamente hasta llegar al último vértice, el cual se desplaza  $n$  veces, hasta coincidir con el primero.

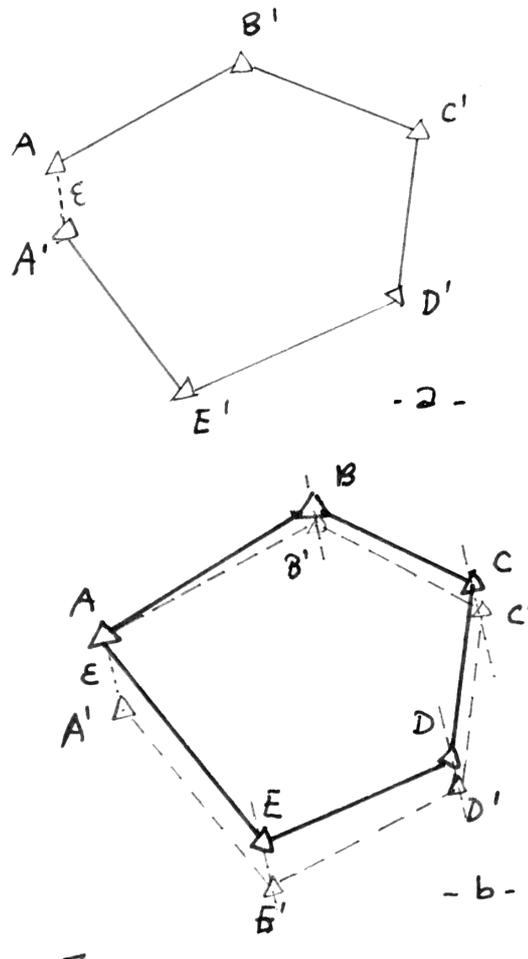


Fig. 4. Compensación gráfica de una poligonal cerrada.  
 a: representación gráfica. e: error de cierre  
 b: compensación gráfica. Líneas llenas: poligonal compensada.

La representación gráfica se realiza cuando no se requiere precisión. El error que se produce al graficar la poligonal es mayor que el error de medición. Además los errores de graficación se suman o arrastran de una estación a otra, de modo que no es compatible la precisión de los instrumentos y los métodos con la representación gráfica de las coordenadas polares.

La representación gráfica por coordenadas polares es adecuado en los levantamientos expeditivos con brújula, teniendo en cuenta además que la brújula mide rumbos y de esta manera se evita el arrastre de los errores angulares.

Para evitar los errores que resultan al graficar la poligonal utilizando el círculo graduado y el escalímetro, se realiza la transformación de las coordenadas polares a coordenadas cartesianas.

**e. Cálculos de rumbos.**

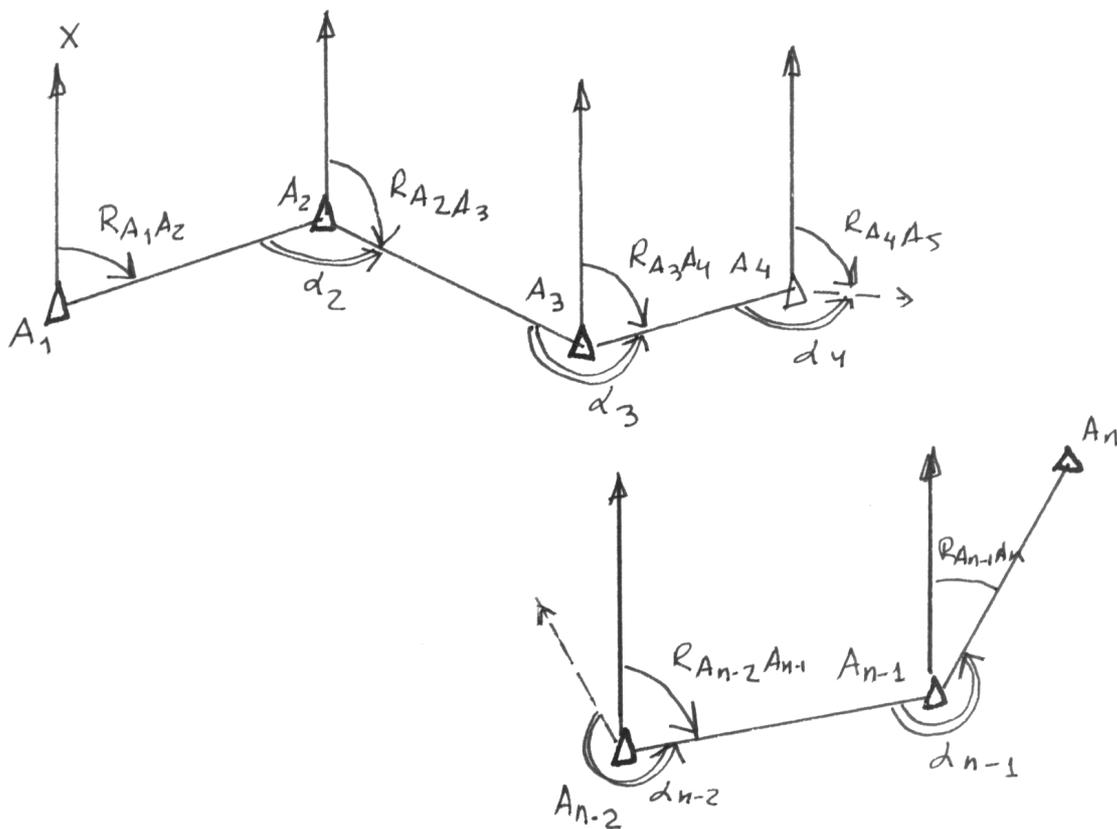


Fig. 5. Cálculo de rumbos.

$$R_{A_1A_2}: \text{rumbo conocido} / R_{A_2A_3} = R_{A_1A_2} \pm 180^\circ - a_2 / R_{A_3A_4} = R_{A_2A_3} \pm 180^\circ - a_3$$

$$R_{A_{n-1}A_n} = R_{A_{n-2}A_{n-1}} \pm 180^\circ - a_{n-1}$$

Dada la poligonal cerrada constituida por los vértices A, B, C, ...N; se conoce o se asigna un rumbo arbitrario al primer lado AB. Para calcular el rumbo del lado siguiente BC, suponiendo el sentido de giro del levantamiento es según las agujas del reloj, se calcula el rumbo recíproco BA y se resta el ángulo interior del vértice B. Se procede de la misma manera con cada uno de los lado hasta cerrar el circuito, es decir obtener el rumbo BA que debe coincidir con el rumbo de partida. En el caso que el sentido de giro del levantamiento de las estaciones sea contrario a las agujas del reloj, en vez de restar los ángulos interiores, se suman.

**f. Cálculos de las coordenadas cartesianas.**

Una vez corregidos los ángulos interiores, calculado los rumbos de cada lado y obtenidas las medias de las distancias de cada lado de la poligonal, se procede a calcular las diferencias de coordenadas entre cada vértice consecutivo.

$$D_x = d \cos R$$

$$Dy = d \text{ sen } R$$

**g. Error de cierre lineal.**

Dado que la poligonal es cerrada, las coordenadas de la primera y última estación son las mismas, de modo que la sumatoria de los  $Dx$  y de los  $Dy$  deben ser igual a cero. Así los errores lineales son los siguientes:

$$\begin{aligned} \sum x &= \sum Dx \\ \sum y &= \sum Dy \end{aligned}$$

El error de cierre lineal es igual a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los errores lineales parciales en el eje x e y:

$$e = \sqrt{\sum x^2 + \sum y^2}$$

Para efectuar la compensación lineal, el error debe ser menor o igual que la tolerancia lineal.

**h. Correcciones**

Si los lados de la poligonal tienen longitudes similares, se puede compensar por partes iguales. En el caso que se requiere más precisión la corrección es más compleja. Se puede realizar por partes proporcionales. Las correcciones proporcionales vienen expresadas por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} C_x &= \sum x / \sum Dx + \sum Dy \\ C_y &= \sum y / \sum Dx + \sum Dy \end{aligned}$$

Para obtener los valores de corrección proporcionales,  $C_x$  y  $C_y$  se multiplican por todos los  $Dx$  y  $Dy$  respectivamente y estos valores se suman o se restan, de acuerdo a su signo, a los  $Dx$  y  $Dy$ .

Para obtener las coordenadas cartesianas de los puntos que forman la poligonal se debe partir de las coordenadas del primer punto. Si no se conocen las coordenadas del primer punto, se les asignan valores arbitrarios. Estos valores arbitrarios se eligen procurando que ningún punto del levantamiento tenga coordenadas negativas. A partir de las coordenadas del primer punto se obtienen las coordenadas de los puntos subsiguientes, utilizando los  $Dx$  y  $Dy$  corregidos.

**i - Representación gráfica.**

Para la representación gráfica de la poligonal y de los puntos auxiliares se utiliza una retícula a la escala elegida, paralela a los ejes principales. Cada punto queda representado por sus coordenadas x e y. De esta manera se evita el error gráfico que se comete al representar la poligonal mediante sus coordenadas polares utilizando el escalímetro y el transportador.

**j - Cálculos de poligonales ligadas en sus extremos.**

Para el caso de una poligonal abierta vinculada en sus extremos (Ver Fig. N° 3, Pág. 4) se puede controlar y corregir de manera similar a una poligonal cerrada. Se conocen las coordenadas del punto inicial A y el punto final B y los rumbos  $R_1$  y  $R_2$ .

A partir del rumbo inicial,  $R_1$ , se pueden obtener los rumbos de los lados subsiguientes, conociendo los ángulos de los vértices.

$$R_{A1} = R_1 + \alpha_1$$

$$R_{12} = R_1 + \alpha_1 - 180^\circ + \alpha_2$$

El rumbo recíproco de  $R_{A1}$  ( $R_{1A}$ ) es:

$$R_{1A} = R_1 + \alpha_1 - 180^\circ$$

Entonces:

$$R_{R2B} = R_1 + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5) - 5 \cdot 180^\circ$$

$$R_2' = R_{R2B} - 180^\circ$$

El error de cierre angular es:

$\alpha = R_2' - R_2$
-----------------------

Si el error es menor que la tolerancia se puede compensar la poligonal. Para la compensación lineal se tiene en cuenta que:

$$\alpha_x = \frac{\alpha}{L} \cdot X_{AB}$$

$$\alpha_y = \frac{\alpha}{L} \cdot Y_{AB}$$